

Primljen / Received: 8.5.2019.

Ispravljen / Corrected: 18.1.2020.

Prihvaćen / Accepted: 22.4.2020.

Dostupno online / Available online: 10.9.2020.

Utjecaj gradnje uzdignutih pješačkih prijelaza na uvjete prometovanja gradskim prometnicama

Autori:



¹Mr.sc. **Nemanja Garunović**, dipl.ing.prom.
garunovic@uns.ac.rs
Autor za korespondenciju



¹Prof.dr.sc. **Vuk Bogdanović**, dipl.ing.prom.
bogdanovic_vuk@yahoo.com



¹Doc.dr.sc. **Jelena Mitrović Simić**, dipl.ing.prom.
mjelena@uns.ac.rs



²Mr.sc. **Goran Kalamanda**, dipl.ing.prom.
goran.kalamanda@adomne.rs



³Doc.dr.sc. **Biljana Ivanović**, dipl.ing.građ.
biljanai@ucg.ac.me

¹Sveučilište u Novom Sadu, Srbija
Fakultet tehničkih nauka

²ADOMNE d.o.o., Novi Sad, Srbija

³Sveučilište Crne Gore, Građevinski fakultet

Prethodno priopćenje

Nemanja Garunović, Vuk Bogdanović, Jelena Mitrović Simić, Goran Kalamanda, Biljana Ivanović

Utjecaj gradnje uzdignutih pješačkih prijelaza na uvjete prometovanja gradskim prometnicama

Jedno od rješenja koje se u novije vrijeme na cestovnim mrežama često primjenjuje jest uzdizanje kolnika na izdvojenim pješačkim prijelazima. Ovom se mjerom žele smanjiti prilazne brzine vozila te povećati stupanj propuštanja pješaka od strane vozača. U radu su prikazani rezultati istraživanja o tome kako uzdizanje kolnika na pješačkom prijelazu utječe na ponašanje pješaka i vozača analizirajući parametre prometnog toka. Istraživanje je provedeno na izdvojenom signaliziranom pješačkom prijelazu i to prije i nakon rekonstrukcije prijelaza.

Ključne riječi:

rekonstrukcija prometnice, uzdignuti pješački prijelaz, usporivači prometa, brzina prometnog toka

Research paper

Nemanja Garunović, Vuk Bogdanović, Jelena Mitrović Simić, Goran Kalamanda, Biljana Ivanović

The influence of the construction of raised pedestrian crossing on traffic conditions on urban segments

One of solutions that is often used in recent times in street networks is vertical shift in pavement level at mid-block pedestrian crossings. This measure is aimed at reducing vehicle speed and increasing the motorist yield rate. Research results about the influence of raised mid-block pedestrian crossings on pedestrian and driver behaviour are presented through analysis of traffic flow parameters. The research was conducted at a mid-block signalised pedestrian crossing prior to and after rehabilitation of that crossing.

Key words:

road rehabilitation, raised pedestrian crossing, speed tables, traffic flow speed

Vorherige Mitteilung

Nemanja Garunović, Vuk Bogdanović, Jelena Mitrović Simić, Goran Kalamanda, Biljana Ivanović

Einfluss des Baus erhöhter Fußgängerüberwege auf die Verkehrsbedingungen auf Stadtstraßen

Eine der Lösungen, die in jüngster Zeit häufig in Straßennetzen eingesetzt wird, ist das Anheben von Fahrbahnen an ausgewählten Fußgängerüberwegen. Zweck dieser Maßnahme ist es, die Annäherungsgeschwindigkeit von Fahrzeugen zu verringern und die Anzahl der Fußgänger zu erhöhen, die die Fahrer über die Straße gehen lassen. Die Arbeit präsentiert die Ergebnisse von Untersuchungen darüber, wie sich die Höhe der Fahrbahn an einem Fußgängerüberweg auf das Verhalten von Fußgängern und Fahrern auswirkt, indem die Parameter des Verkehrsflusses analysiert werden. Die Forschung wurde an einem ausgewählten beschilderten Fußgängerüberweg sowohl vor als auch nach der Rekonstruktion des Überwegs durchgeführt.

Schlüsselwörter:

Rekonstruktion des Verkehrswegs, erhöhter Fußgängerüberweg, Vorrichtungen zum Verlangsamen des Verkehrs, Verkehrsflussgeschwindigkeit

1. Uvod

Razvoj održivog prometnog sustava i mobilnosti u gradskim sredinama neizbježno uključuje i ocjenu kvalitete pješačkog prometa duž čitave mreže cestovnih prometnica. Na osnovna kretanja pješaka, kao što je primjerice prelaženje preko ceste, znatno utječe velik broj objektivnih i subjektivnih faktora prisutnih u prometnom sustavu. Za pješake, koji su najugroženija skupina sudionika u prometu, najkritičnije točke u cestovnoj mreži su pješački prijelazi, gdje se pješački tokovi križaju s tokovima vozila na istoj razini. Na tim je mjestima s jedne strane potrebno omogućiti siguran prelazak pješaka preko ceste, a s druge neometan prolazak vozila.

Ovisno o lokalnim uvjetima koji su propisani na državnoj ili lokalnoj razini, na cestovnoj se mreži mogu predvidjeti različite vrste pješačkih prijelaza, pri čemu se definira prioritet pješačkih tokova u odnosu na tokove motornih vozila. Međutim, zbog raznih objektivnih faktora kao što su brzina vozila, geometrija prometnice, gustoća pješačkog prometa itd., ipak su moguća odstupanja od pravila kojima je definirano ponašanje vozača i pješaka. Danas se primjenjuju različite mjere kako bi se povećala razina sigurnosti pješaka te u što većoj mjeri osiguralo njihovo prvenstvo prolaska. Neke od mjera koje se u tom cilju poduzimaju uključuju građevinske intervencije koje podrazumijevaju promjene geometrijskih karakteristika ceste. Te se mjere provode kako bi se utjecalo na vozače da poštuju prometne propise (npr. ograničavanjem brzine kretanja vozila). Jedna od mogućnosti je i denivelacija kolnika na mjestu na kojem dolazi do križanja prometnih tokova pješaka i vozila. U tom se slučaju umjesto uobičajenih oznaka bojom pješački prijelaz zapravo uzdiže, a s jedne i druge strane se pod odgovarajućim nagibom izvode pristupne rampe. Čitava ta konstrukcija služi kao sredstvo za usporavanje prometa, a istovremeno vrlo jasno ukazuje na mjesto namijenjeno za prijelaz pješaka preko ceste. Istraživanje prikazano u ovom radu provedeno je kako bi se u konkretnoj situaciji pod stvarnim prometom odredile eventualne razlike kvalitativnih pokazatelja prometnih tokova na pješačkom prijelazu nakon njegove rekonstrukcije. U analiziranom slučaju uspoređeni su kvalitativni pokazatelji prometa na pješačkom prijelazu u Ulici dr. Sime Miloševića u studentskom kampusu Sveučilišta u Novom Sadu i to za stanje prije i nakon rekonstrukcije cestovne mreže. Osnovne promjene na toj lokaciji odnosile su se na izmjenu geometrije pješačkog prijelaza, koji je prije rekonstrukcije bio označen standardnom horizontalnom signalizacijom, a nakon rekonstrukcije pješački prijelaz poprimio je oblik uzdignute plohe. Cilj je ovog istraživanja prikazati učinak mjera primijenjenih na analiziranom pješačkom prijelazu usredotočujući se na tok prometa i na ponašanje pješaka i vozača u zoni tog pješačkog prijelaza.

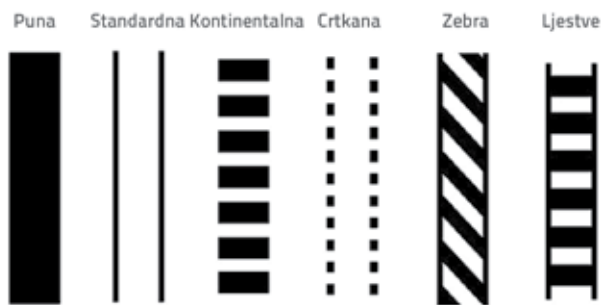
2. Prijašnja istraživanja

Križanje pješačkih tokova i tokova vozila u istoj razini (u vidu pješačkih prijelaza u razini) u većini je slučajeva već postojeći

element cestovne mreže koji je istovremeno u mnogim slučajevima i neizbježan element pri definiranju novog cestovnog sustava. Pješački se prijelazi najčešće definiraju kao posebno označene površine namijenjene kretanju pješaka po kolniku, tj. namijenjene prelaženju preko ceste [1]. Ovisno o potrebama koje proizlaze iz geometrije prijelaza i zahtjevima pješačkih tokova, danas razlikujemo tri osnovne vrste cestovnih prijelaza u razini:

- zone u kojima dolazi do križanja tokova pješaka i tokova vozila te u kojima nije potrebna horizontalna signalizacija;
- zone u kojima dolazi do križanja tokova pješaka i tokova vozila ali je potrebna horizontalna signalizacija bez semafora;
- zone u kojima dolazi do križanja tokova pješaka i tokova vozila u kojima je potrebno semaforско reguliranje prometa [2].

Nesignalizirani pješački prijelazi su mjesta prelaženja koja su označena propisno definiranim cestovnim oznakama i odgovarajućim prometnim znakovima. Oznake na pješačkom prijelazu mogu se razlikovati ovisno o normama i propisima koji se primjenjuju u pojedinim državama. Za pješačke se prijelaze najčešće primjenjuju oznake koje su prikazane na slici 1.



Slika 1. Uobičajene oznake na pješačkim prijelazima [1]

Pri označavanju ili izvođenju pješačkog prijelaza, treba paziti da prijelaz bude lako dostupan svim korisnicima. To se naročito odnosi na korisnike s posebnim potrebama, na osobe u invalidskim kolicima te na majke s malom djecom u kolicima, i to zato što rubnjaci na krajevima prijelaza predstavljaju prepreku ili otežavaju prelaženje preko ceste. Kako bi se eliminirao ovaj problem, na rubovima kolnika i na početku pješačkog prijelaza često se izvode odgovarajuće rampe. Jedan od načina na koji se mogu izvoditi rampe na pješačkim prijelazima, s minimalnim dimenzijama elemenata prema normi AASHTO-a (Američkog saveza službenika državnih uprava za ceste i promet) prikazan je na slici 2.

Na pješačkim prijelazima koje koristi vrlo velik broj pješaka, te na kojima zbog određenih razloga nisu postavljeni semafori, mogu se primijeniti brojne mjere kako bi se smanjila opasnost kojoj su izloženi pješaci. S obzirom na činjenicu da pješaci čine skupinu sudionika u prometu koji obično imaju prednost u odnosu na motorna vozila, najčešće se kao mjera sigurnosti

na intenzivno korištenim pješačkim prijelazima primjenjuje smanjenje dopuštene brzine kretanja motornih vozila. Ako je potrebno, postavljaju se i odgovarajuća sredstva za usporavanje prometa (umjetne izbočine i uzdignute plohe) kako bi se vozači upozorili na ograničenje brzine, tj. kako bi se fizički onemogućila brža vožnja na pojedinom segmentu ceste ili cestovne mreže.



Slika 2. Primjer rampe za prelaženje preko ceste [3]

Sredstva za usporavanje prometa općenito se mogu podijeliti na sredstva upozorenja kao što su npr. optički i zvučni znakovi i signali, te na fizičke prepreke koje se ugrađuju na kolnik i onemogućuju kretanje vozila brzinom koja je veća od zadane, ili čine bržu vožnju neudobnom. Uzdignute plohe (platforme) koje se obično koriste na izdvojenim pješačkim prijelazima zapravo su posebna vrsta vertikalnih sredstava za usporavanje prometa koja pokrivaju veću površinu kolnika (slika 3.).



Slika 3. Uzdignuta platforma u funkciji pločnika [5]

Osnovne karakteristike takvih platformi jesu zahvaćanje čitave poprečne površine kolnika te mogućnost modularne izvedbe: one se mogu izgraditi kao modularni elementi izrađeni od gumenih ili plastičnih materijala ili pak kao trajni elementi izrađeni od asfaltnih mješavina, betona ili montažnih materijala. Prednost im je u tome što nema prepreka koje bi ometale

prelazak pješaka i biciklista preko ceste. Naime, visina platforme uvijek odgovara visini pločnika (slika 4.) ili biciklističke staze.



Slika 4. Spoj pločnika i uzdignute platforme

Platforme omogućuju smanjenje brzine kretanja motornih vozila i motocikla. Prema istraživanju koje je proveo Institut prometnih inženjera, brzina kretanja smanjuje se u slučaju umjetnih izbočina dužine 3,66 m (12 stopa) za 12,2 km/h (7,6 m/h), za 12,4 km/h (7,7 m/h) ako su izbočine dužine 4,27 m (14 stopa), za 10,6 km/h (6,6 m/h) za uzdignute plohe dužine 6,71 m (22 stope), tj. za 5,1 km/h (3,2 m/h) za uzdignute plohe duže od 6,71 m (22 stope) [4].

Funkcionalna ocjena primijenjenih s aspekta poboljšanja prometa iskazana je pomoću kvalitativnih pokazatelja. Kvalitativni pokazatelji prometnih uvjeta korišteni u analizi su: brzina pojedinačnih vozila izmjerena neposredno prije pješačkog prijelaza, brzina pješaka koji prelaze preko kolnika, stupanj propuštanja pješaka i vremenski gubici pješaka.

2.1. Karakteristike pješačkih tokova i tokova motornih vozila

Većina karakteristika pješačkih tokova podudara se s karakteristikama tokova motornih vozila: slobodan izbor brzine kretanja i obilaženja sudionika u prometu koji su ili parkirani ili se kreću. Međutim mnoge su karakteristike specifične za pješačke prometne tokove. Neke od njih su: kretanje u smjeru suprotnom od osnovnog pješačkog toka, kretanje bez sudara ili promjena u brzini kretanja, te vremenski gubici pješaka na signaliziranim i nesignaliziranim križanjima.

Pravila koja se odnose na osnovne parametre pješačkog toka (tok, brzina, gustoća) istovjetna su onima koja se primjenjuju na vozila. Dakle, može se reći da je pješački tok rezultat brzine i gustoće u toku kretanja pješaka. S povećanjem brzine pješačkog toka povećava se i razmak između pješaka, što dovodi do smanjenja gustoće. Gustoća se smanjuje s povećanjem brzine zbog razmaka koji treba postojati između pješaka kada se kreću,

a i zato što im je potreban veći fizički prostor jer su koraci duži pri većoj brzini kretanja. Iako brzina utječe na povećanje razmaka između pješaka, značajan je također i utjecaj ljudske psihe, tj. načina na koji svaki pojedini pješak doživljava privatni prostor oko sebe. Taj doživljaj privatnog prostora naročito je značajan u situacijama kada se pješački tokovi zaustave ili znatno usporu (brzina približno jednaka nuli). U takvim slučajevima gustoća pješačkog toka relativno je visoka, te je stoga važno poznavati parametre protoka u okviru analiza masovnih događanja ili okupljanja kojima prisustvuje velik broj ljudi.

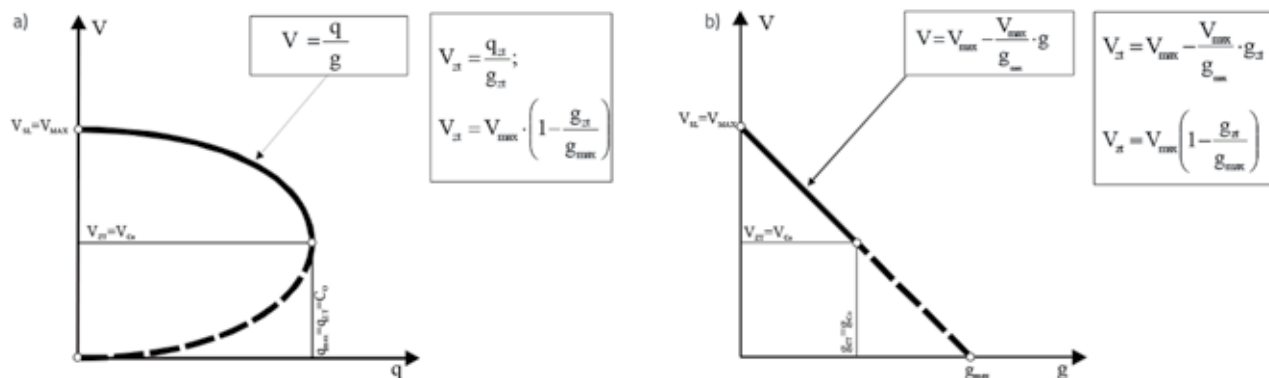
Brzina kretanja pješaka u velikoj mjeri ovisi o karakteristikama populacije pješaka. Na primjer, neki od faktora koji utječu na brzinu kretanja pješaka su postotak starijih pješaka (osoba starijih od 65 godina) i djece, te svrha kretanja. Postoje i neki drugi faktori koji utječu na smanjenje prosječne brzine kretanja kao što su primjerice nagibi veći od 5 %, zbog čega se taj faktor svakako treba uzeti u obzir u proračunu. Isto tako, tijekom istraživanja utvrđeno je da se brže kreću pješaci koji prelaze cestu pojedinačno nego kada to rade u skupini [6-9].

Postupak za izračunavanje razine usluge (eng. *level of service* - LOS) koja se pruža pješacima na signaliziranim i nesignaliziranim križanjima prikazan je u Priručniku za određivanje kapaciteta cestovnih prometnica (eng. *Highway Capacity Manual* - HCM) koji je objavljen 2000. godine [10]. Vrijednost LOS za pješačke prijelaze na nesignaliziranim križanjima bazira se na prosječnim vremenskim gubicima pješaka, tj. na vremenu čekanja na prelazak preko ceste. Vrijednost LOS podijeljena je u klase od A do F, pri čemu je klasa A najbolja a klasa F najnepovoljnija. LOS klase F odnosi se na situacije u kojima nema prikladnog intervala u kojem bi pješaci mogli sigurno preći preko ceste. Za te je situacije tipično vrlo dugo vrijeme čekanja, kada su vremenski gubici pješaka duži od 45 sekundi. Ta se metodologija temelji na fiksnim vremenskim intervalima. Metoda za izračunavanje vrijednosti LOS za pješake uključuje provedbu niza koraka za koje su potrebni ulazni podaci o intenzitetu prometa i pješačkih tokova te uvjeti koji se odnose na geometriju prometnice. Na temelju rezultata postignutih u okviru istraživanja provedenih u međuvremenu, utvrđeno je da na vrijednost LOS za pješački tok bitno utječu vozila koja se zaustavljaju i uspoređavaju vožnju kako

bi dala prednost pješacima koji žele prijeći preko ceste. Zbog toga je uveden novi parametar tj. stupanj propuštanja pješaka (koji se u proračunu označava kao M_p), a postojeće metode, koje završavaju s proračunom prosječnog gubitka vremena koji se u tim metodama koristi za ocjenu vrijednosti LOS, proširene su uključivanjem dodatnog koraka u kojem se prosječne vrijednosti gubitka vremena određuju ocjenjivanjem smanjenja vremena čekanja zato što vozači propuštaju pješake.

Propuštanje pješaka jedno je od osnovnih mjerila djelotvornosti na nesignaliziranim križanjima. Stupanj propuštanja pješaka izračunava se kao odnos broja vozila koja su se zaustavila ili su usporila prije pješačkog prijelaza prema ukupnom broju vozila koja su se mogla zaustaviti ili su mogla usporiti kako bi pješacima omogućio prelazak preko ceste [11]. Ovaj se parametar obično iskazuje vrijednostima od 0 do 1 iako se u literaturi, naročito u SAD-u, spomenuti parametar iskazuje u postocima, tj. od 1 do 100 %. Na osnovi tehničkih istraživanja, u HCM 2010 daju se preporuke za propuštanje pješaka, pri čemu se vrijednost 0 daje za neobilježene pješačke prijelaze, a vrijednost 0,5 označava jasno obilježene pješačke prijelaze. Međutim, iskustva s preporučenim vrijednostima drugih parametara prometnog toka u postupcima koji se primjenjuju za određivanje LOS-a pokazuju da lokalna mjerenja bitno utječu na te vrijednosti te da se, kada god je to moguće, trebaju primijeniti podaci o propuštanju pješaka koji su precizno određeni na analiziranoj lokaciji. U slučajevima kada se stupanj propuštanja ne može izmjeriti, može se izračunati matematičkim modeliranjem uzimajući u obzir karakteristike lokacije i podatke o tokovima vozila i pješaka. Na taj se način mogu odrediti utjecaji i posebice na lokalnoj razini kao i karakteristike toka prometa, što se prije nije određivalo, a što pridonosi preciznijem definiranju vrijednosti LOS na pješačkim prijelazima [12].

Iako su se istraživanja o karakteristikama prometnih tokova počela provoditi još u četrdesetim godinama prošlog stoljeća, može se reći da se tek nakon 1950. godine bilježi znatniji razvoj znanstvene discipline koja se bavi tim pitanjima. Od tada su provedena mnoga istraživanja u području teorije prometnih tokova, što između ostalog uključuje i istraživanja relevantnih pokazatelja prometnog toka i njegovih karakteristika. Vozilo



Slika 5. Shematski prikaz korelacije parametara prometnog toka u teoretski idealnim uvjetima: a) brzina-prometno opterećenje; b) brzina - gustoća [13]

je osnovni element prometnog toka. S obzirom na činjenicu da se kretanje vozila u uvjetima slobodnog prometnog toka može bitno poistovjetiti s uvjetima kretanja svakog pojedinog vozila u toku, može se ustvrditi da ti uvjeti predstavljaju početnu točku u opisivanju općih karakteristika prometnog toka vozila u pokretu [13]. Način na koji se vozilo kreće po cestovnoj prometnici uglavnom ovisi o karakteristikama ceste, karakteristikama sustava "vozač-vozilo" te općim karakteristikama okoline. Definirani su osnovni parametri za opisivanje karakteristika prometnog toka te pravila za kretanje vozila unutar tog toka.

U teoriji prometnih tokova, ti su parametri definirani kao protok (q), gustoća toka (g) i brzina toka (v). Osnovni odnos između ta tri parametra prometnog toka (odnos toka, brzine i gustoće) odredio je Bruce Greenshields četrdesetih godina prošlog stoljeća [14]. Prema tom odnosu, protok je jednak produktu gustoće i brzine prometnog toka. U tom se istraživanju težište stavlja na brzinu prometnog toka koja se smatra kvalitativnim pokazateljem uvjeta prometnog toka na urbanim cestovnim prometnicama [15]. Funkcionalna ovisnost između brzine, protoka i gustoće toka u apstraktno zamišljenim teoretski idealnim uvjetima prikazana je na slici 5.

3. Metodologija i lokacija na kojoj je provedeno istraživanje

U ovim se analizama primjenjuju različite metodologije i tehnologije, ovisno o specifičnim potrebama za određivanjem parametara prometnog toka. Metode variraju od jednostavnih koje se primjenjuju za prikupljanje podataka o pojedinačnim relevantnim parametrima određenog sudionika u definiranom razdoblju, pa sve do sustavnih rješenja koja služe za prikupljanje velikog broja parametara prometnog toka u jednogodišnjem razdoblju. Tehnologija videodetekcije u kombinaciji s programskim paketima za analizu digitalnih zapisa pokazala se kao vrlo pouzdan način za detekciju prometnih tokova vozila ili pješaka [13]. Metoda analize videozapisa u svrhu prikupljanja podataka o prometnom toku prvi je put primijenjena u tridesetim godinama prošlog stoljeća a danas, zahvaljujući razvoju tehnologije, dosegnuta je razina na kojoj se prometni parametri mogu definirati iznimno precizno i točno [16-18]. Što se tiče prikupljanja podataka, najprije treba definirati fiksni položaj kamere za videosnimanje kako bi se snimkom pokrilo područje koje je značajno za istraživanje. Osim toga, kamera se treba postaviti tako da je sudionici u prometu ne mogu uočiti, tj. da ništa ne utječe na njihovo uobičajeno ponašanje u prometu [16]. Uz to, primjenom programskog alata Kinovea, na videozapis dodaju se referentne točke na zadanoj udaljenosti, te se počevši od tih točaka povlače referentne linije. Program Kinovea ima opciju analiziranja zapisa korak po korak, tj. video zapis se može usporiti i zaustaviti s dopuštenim odstupanjem od 0,04 sekunde, što je izuzetno precizno. U sljedećem se koraku videozapis pregledava te se bilježi vrijeme prolaska svakog vozila ili pješaka kroz zadane referentne linije. Na taj se

način formira odgovarajuća baza podataka s opisom događaja koji su relevantni za unaprijed zadani tip analize.



Slika 6. Referentne linije pješačkog prijelaza pozicionirane pomoću programa Kinovea



Slika 7. Referentne linije na prometnoj traku pozicionirane pomoću programa Kinovea

Parametri kao što su brzina pojedinačnog vozila ili pješaka, vrijeme potrebno pješaku da prijeđe preko pješačkog prijelaza, vremenski rasporedi toka, te ostali potrebni podaci, određuju se na bazi nizova podataka koji se formiraju u okviru matematičko-statističke analize. Istraživanje je provedeno bilježenjem prometnih uvjeta u dva vremenska razdoblja:

- prije rekonstrukcije pješačkog prijelaza, tj. u veljači 2015. godine
- nakon rekonstrukcije pješačkog prijelaza, tj. u listopadu 2017. godine.

Tijekom bilježenja prometnih tokova prije i nakon rekonstrukcije, vremenski su uvjeti bili otprilike isti, bez padalina, a temperatura je varirala od 15°C do 20°C, što je pogodno za pješački promet i promet motornim vozilima.

Za snimanje videozapisa primijenjenih u analizi korištena je digitalna kamera Nikon Coolpix L320 (16.1 MP). Zapisi su analizirani pomoću programskog paketa Kinovea. Za matematičko-statističku analizu korištena su dva programa: MS Excel i Minitab.

3.1. Karakteristike analizirane lokacije

Analizirani pješački prijelaz nalazi se u Ulici dr. Sime Miloševića koja je smještena unutar kampusa Sveučilišta u Novom Sadu. Ova cestovna dionica zapravo je sabirna cesta za dotično urbano područje. U razdoblju od 2015. do 2017. godine nisu zabilježene bitne promjene u prometnoj potražnji. Intenzitet prometa u vršnom satu varira od 250 do 300 vozila na sat, a prosječni godišnji dnevni promet (PGDP) iznosi otprilike 3000 vozila na dan. Pješački je prijelaz tako pozicioniran da predstavlja glavnu spojnu točku između dva dijela kampusa (studentski domovi s jedne strane a fakultetske zgrade s druge), pa su stoga pješački tokovi prilično intenzivni. Osim toga ovaj pješački prijelaz nalazi se na glavnoj cesti koja vodi prema kampusu. Na toj se cesti promet uglavnom sastoji od osobnih automobila i vozila javnog prijevoza. Prije rekonstrukcije, ta je cesta imala dva prometna traka širine po 3,0 m, a služila je za dvosmjerni promet. Širina pješačkog prijelaza iznosila je 3,0 m. Horizontalna signalizacija sastojala se od oznaka tipa "zebra", a razmak između svake oznake iznosio je 0,5 m. Uz to su bili postavljeni i odgovarajući prometni znakovi obavijesti. Na obje strane kolnika bile su izvedene pristupne rampe za invalide, a bio je osiguran i prostor za pješake koji su čekali da prijeđu cestu (slika 8.).



Slika 8. Pješački prijelaz prije rekonstrukcije



Slika 9. Pješački prijelaz nakon rekonstrukcije

Nakon rekonstrukcije, širina kolnika ostala je nepromijenjena, a pješački je prijelaz uzdignut tako da je dobivena trapezna platforma koja je popločena betonskim kockama (tipa behaton). Ukupna širina platforme iznosi 5,3 m, od čega na korisnu uzdignutu površinu otpada 2,9 m, a širina prijelaznih nagiba na svakoj strani iznosi 1,2 m. Visina uzdignutog pješačkog prijelaza iznosi 7,0 cm. Prometni znakovi obavijesti zadržani su na obje strane kolnika. Pristup pješačkom prijelazu, isto kao i prostor za čekanje na prelazak preko ceste, prilagođeni su novom obliku prijelaza (slika 9.).

4. Rezultati istraživanja i rasprava

Statistička analiza brzine vozila u zoni analiziranog pješačkog prijelaza provedena je na osnovi podataka dobivenih tijekom ovog istraživanja, i to prije i nakon rekonstrukcije. Ta je analiza provedena kako bi se ustanovilo postoji li razlika u brzini vozila te, ako postoji, kolika je zapravo ta razlika. Kako bi se eliminirao utjecaj pješaka na brzinu vozila, u obzir su uzete samo brzine vozila u blizini pješačkog prijelaza i to u situaciji kada pješaci nisu koristi li taj prijelaz, niti su čekali na prelazak preko ceste. U tablici 1. prikazane su karakteristike promatranih uzoraka. Analizom izmjerenih brzina vozila utvrđeno je da je raspodjela brzina zabilježenih prije i nakon rekonstrukcije prijelaza uglavnom

Tablica 1. Rezultati mjerenja brzine vozila

Varijabla	N	Mean	SEMean	StDev	Var	Min	Q1	Median	Q3	Max
Vv_no ped (BR)	72	8,20	0,31	2,71	7,34	2,52	6,34	7,97	9,84	17,80
Vv_no ped (AR)	83	4,57	0,25	2,35	5,53	1,16	2,93	3,83	5,49	14,00

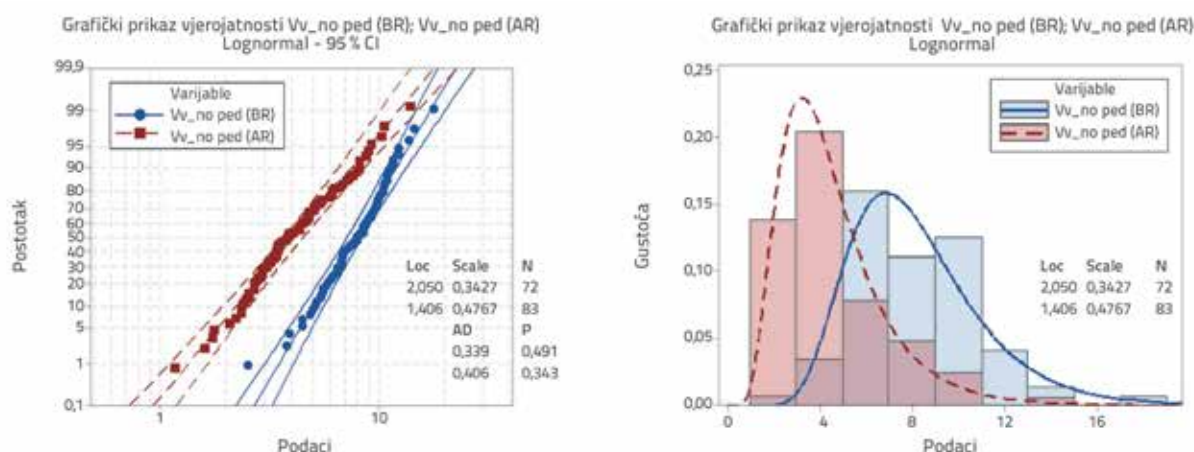
Opis kratice varijabli:

Vv_no ped (BR) – brzina vozila prije rekonstrukcije bez utjecaja pješaka (m/s);

Vv_no ped (AR) – brzina vozila nakon rekonstrukcije bez utjecaja pješaka (m/s)

Opis kratice statističkih parametara:

N – ukupan broj opažanja; Mean – suma svih opažanja podijeljena s brojem opažanja (aritmetički prosjek); SEMean – Standardna pogreška srednje vrijednosti; StDev – standardna devijacija podataka; Var – varijacija, pokazatelj raspršenosti podataka; Min – najniža vrijednost u promatranom nizu podataka; Q1 – prvi kvartil u promatranom nizu podataka, 25 % podataka niži su ili su jednaki toj vrijednosti; Median – sredina raspona podataka, 50 % podataka niži su ili su jednaki toj vrijednosti; Q2 – treći kvartil promatranog niza podataka, 75 % podataka niži su ili su jednaki toj vrijednosti; Max – najviša vrijednost u promatranom nizu podataka.



Slika 10. Grafički prikaz vjerojatnosti i histogram odnosa Vv_no ped (BR) i Vv_no ped (AR)

lognormalna, tj. vrijednost P za Vv_no ped (BR) iznosi 0,491, a vrijednost P za Vv_no ped (AR) iznosi 0,343. Usklađenost podataka s odgovarajućom raspodjelom analizirana je prema Anderson-Darlingovoj statistici s razinom vrijednosti od $\alpha = 0,05$. Hipoteze za Anderson-Darlingov test su: H_0 : podaci slijede zadanu raspodjelu, i H_1 : podaci ne slijede zadanu raspodjelu. Ako je vrijednost p niža od odabrane razine vrijednosti α , tada se može zaključiti da se nulta hipoteza (H_0) može odbaciti te da podaci ne slijede zadanu raspodjelu [19]. Na slici 10. su prikazani karakteristični dijagrami na kojima je opisan uzorak brzina vozila prije i nakon rekonstrukcije pješačkog prijelaza. S obzirom na činjenicu da se promatrani uzorci ponašaju u skladu s obrascima lognormalne raspodjele, za potrebe ove analize primijenjena su neparametarska ispitivanja.

Usporedba brzine vozila prije i nakon obnove provedena je pomoću Mann-Whitneyjevog neparametarskog ispitivanja hipoteze, kojim se određuje imaju li dvije populacije istu sredinu populacije. U analizi je definiran prag vrijednosti od $\alpha = 0,05$ [19]. U ovom ispitivanju nulta hipoteza glasi da u ovom slučaju nije bilo promjena u brzini vozila prije i nakon rekonstrukcije. Kao alternativna hipoteza, određeno je da je brzina vozila prije rekonstrukcije pješačkog prijelaza veća u odnosu na brzinu vozila nakon rekonstrukcije.

Na bazi rezultata ispitivanja može se odbaciti nulta hipoteza da nema razlike u brzinama, tj. da su srednje vrijednosti brzine prije rekonstrukcije i srednje vrijednosti brzine nakon rekonstrukcije promatranog pješačkog prijelaza jednake. Razlika između srednjih vrijednosti brzine u ta dva slučaja iznosi 13,2 km/h (3,679 m/s) pri čemu interval povjerenja od 95 % varira u rasponu od 10,4 km/h (2,926 m/s) i 15,8 km/h (4,425 m/s).

Za potrebe dodatne analize prikupljeni su podaci analizirani pomoću neparametarskog Kruskal-Wallisova testa, a radi se o neparametarskoj alternativni jednostrane analize varijacije [19]. U ovom je slučaju nulta hipoteza zapravo izjava da promijenjeni pješački prijelaz (faktor 2) ne utječe na promjenu brzine vozila. Vrijednost z za Vv_no ped (AR) iznosi -7,71 (tablica 3.) što znači da je srednji rang ovog parametra niži od srednjeg ranga svih opažanja. Srednji rang za Vv_no ped (BR) viši je od srednjeg ranga za sva opažanja jer je vrijednost z pozitivna ($z = 7,71$). Iz dobivene vrijednosti p , koja je jednaka nuli ili je zanemarivo mala, proizlazi da se nulta hipoteza može odbaciti.

Srednja vrijednost brzine vozila dobivena na pješačkom prijelazu nakon rekonstrukcije (izrade uzdignutog prijelaza) iznosi 13,8 km/h (3,836 m/s). Na slici 11. prikazana je usporedba srednje brzine na uzdignutom pješačkom prijelazu i rezultata ispitivanja prikazanih u nekim međunarodnim studijama [20,

Tablica 2. Rezultati Mann-Whitneyjevog testa

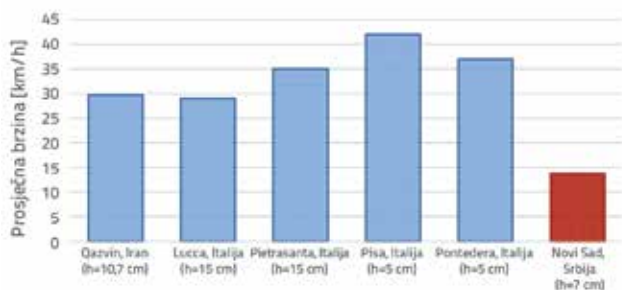
Mann-Whitney Test i CI: Vv_no ped (BR); Vv_no ped (AR)			
	N	Median (η)	Point estimate za $\eta_1 - \eta_2$
Vv_no ped (AR)	83	$\eta_1 = 3,836$	3,679
Vv_no ped (BR)	72	$\eta_2 = 7,975$	95 % CI for $\eta_1 - \eta_2$
Overall	155		(2,926; 4,425)
Test $\eta_1 = \eta_2$ vs $\eta_1 < \eta_2$ je značajan pri 0,0000			
<p>Opis kratica varijabli:</p> <p>Vv_no ped (BR) – brzina vozila prije rekonstrukcije bez utjecaja pješaka (m/s);</p> <p>Vv_no ped (AR) – brzina vozila nakon rekonstrukcije bez utjecaja pješaka (m/s)</p> <p>Opis kratica statističkih parametara:</p> <p>N – ukupan broj opažanja; Median (η) – sredina raspona podataka, 50 % podataka niže je ili je jednako ovoj vrijednosti;</p> <p>95 % CI – 95 % interval povjerenja</p>			

Tablica 3. Rezultati Kruskal-Wallisova testa

Kruskal-Wallis Test na Vv_no ped (AR) vs, Vv_no ped (BR)				
Faktor_2	N	Median	Ave Rank	Z
Vv_no ped (AR)	83	3,836	52,1	-7,71
Vv_no ped (BR)	72	7,975	107,9	7,71
Ukupno	155		78,0	
H = 59,50	DF = 1	P = 0,000	(adjusted for ties)	
H = 59,50	DF = 1	P = 0,000		

Opis kratice varijabli:
Vv_no ped (BR) – brzina vozila prije rekonstrukcije bez utjecaja pješaka (m/s); **Vv_no ped (AR)** – brzina vozila nakon rekonstrukcije bez utjecaja pješaka (m/s)
 Opis kratice statističkih parametara:
N – ukupan broj opažanja; **Median** – sredina raspona podataka, 50 % podataka niže je ili je jednako ovoj vrijednosti; **Ave Rank** – srednji rang opažanja; **Z** – iskaz razlike između promatrane statistike i njenog parametra hipotetske populacije u jedinicama standardne greške; **H** – testna statistika; **DF** – stupnjevi slobode; **P** – vjerojatnost postizanja testne statistike.

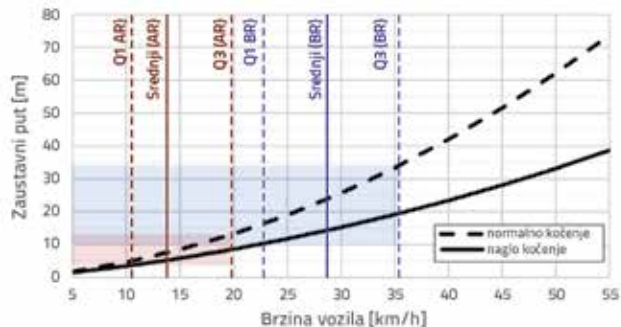
21]. Na temelju dostupne literature, može se zaključiti da je brzina dobivena na analiziranom pješačkom prijelazu za više od 50 % niža od brzine izmjerene u drugim gradovima. Općenito uzevši, razlika u brzini može se javiti kao rezultat geometrijske izvedbe uzdignutog pješačkog prijelaza (npr. visine uzdignute plohe – h), ali može biti uzrokovana i brojnim drugim faktorima (npr. intenzitetom pješačkog prometa).



Slika 11. Usporedni prikaz brzine vozila na uzdignutim pješačkim prijelazima

Važnost ovog građevinskog zahvata ne može se primjereno opisati ako se razmatra isključivo na bazi apsolutne vrijednosti smanjenja brzine. Analiza vrijednosti brzine s aspekta dužine zaustavne preglednosti omogućuje jasniji opis važnosti smanjenja brzine koje je postignuto tijekom ove rekonstrukcije. Karakteristične vrijednosti brzine vozila

prikazane su u sljedećem dijagramu u odnosu na dužinu zaustavnog puta tijekom normalnog kočenja (pretpostavljeno usporavanje od 2,0 m/s²) te naglog kočenja (pretpostavljeno usporavanje od 5,0 m/s²). Na temelju srednjih vrijednosti ustanovljeno je da se pri naglom kočenju dužina zaustavnog puta smanjuje za 9,3 m, tj. za 16,4 m pri normalnom kočenju, što je značajna razlika ako se to pitanje analizira s aspekta sigurnog zaustavljanja vozila u kritičnim situacijama (slika 12.).



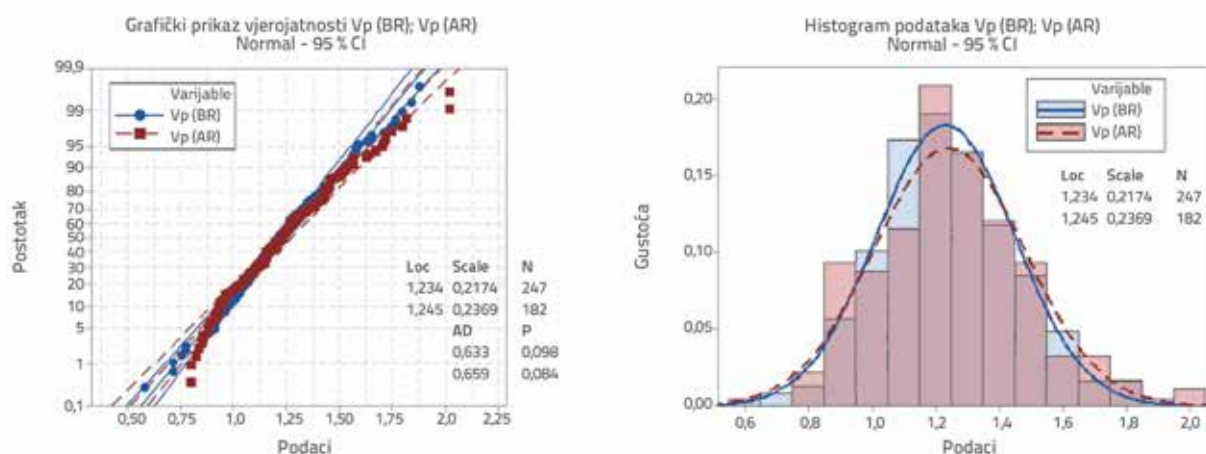
Slika 12. Tipične vrijednosti odnosa brzine vozila i dužine zaustavnog puta

Brzina kretanja pješaka pri prelaženju ceste izmjerena je kako bi se odredio utjecaj uzdignutog pješačkog prijelaza na uvjete pješačkog prometa, a u istu je svrhu izračunan i stupanj

Tablica 4. Rezultati mjerenja brzine kretanja pješaka

Varijabla	N	Mean	SEMean	StDev	Var	Min	Q1	Median	Q3	Max
Vp (BR)	247	1,233	0,013	0,217	0,047	0,58	1,09	1,22	1,36	1,88
Vp (AR)	182	1,244	0,017	0,236	0,056	0,80	1,08	1,24	1,41	2,02

Opis kratice za varijable:
Vp(BR) – brzina pješaka prije rekonstrukcije (m/s); **Vp(AR)** – brzina pješaka nakon rekonstrukcije (m/s)
 Opis kratice statističkih parametara:
N – ukupan broj opažanja; **Mean** – suma svih opažanja podijeljena s brojem opažanja (aritmetički prosjek); **SEMean** – standardna pogreška srednje vrijednosti; **StDev** – standardno odstupanje podataka; **Var** – varijacija, pokazatelj raspršenosti podataka; **Min** – Najniža vrijednost u analiziranom nizu podataka; **Q1** – prvi kvartil analiziranog niza podataka, 25 % podataka niže je ili je jednako ovoj vrijednosti; **Median** – sredina raspona podataka, 50 % podataka niže je ili je jednako ovoj vrijednosti; **Q3** – treći kvartil analiziranog niza podataka, 75 % podataka niže je ili je jednako ovoj vrijednosti; **Max** – najviša vrijednost u analiziranom nizu podataka.



Slika 13. Grafički prikaz vjerojatnosti i histogram odnosa Vp (BR) i Vp (AR)

propuštanja pješaka. Uzorci brzina pješaka pri prelazanju ceste i njihove značajke, definirani prije i nakon rekonstrukcije, prikazani su u tablici 4.

Prema statističkoj analizi (test Anderson-Darling s razinom značajke $\alpha = 0,05$), pretpostavka da brzine kretanja pješaka imaju obilježja normalne raspodjele (vrijednost P za Vp(BR) je 0,098, a vrijednost P za Vp(AR) iznosi 0,084) ne može se odbaciti, kao što se jasno može uočiti na sljedećim dijagramima koji opisuju obilježja brzine kretanja pješaka na analiziranom pješačkom

prijelazu prije i nakon rekonstrukcije. Na temelju dijagrama prikazanog na slici 13. može se pretpostaviti da nema značajnih razlika u brzini kretanja pješaka prije i nakon rekonstrukcije. Kako bi se potvrdila ta pretpostavka, provedeno je ispitivanje ANOVA s nultom hipotezom da nema nikakve promjene u brzini kretanja pješaka prije i nakon rekonstrukcije.

Test ANOVA (analiza varijacije) može se koristiti kako bi se odredilo razlikuju li se srednje vrijednosti dviju ili više skupina. Ovo se ispitivanje može provesti za podatke koji slijede

Tablica 5. Rezultati testa ANOVA za brzinu kretanja pješaka

Nulta hipoteza		Sve srednje vrijednosti su jednake			
Alternativna hipoteza		Barem jedna srednja vrijednost je drugačija			
Razina značajke		$\alpha = 0,05$			
Za analizu su usvojene jednake varijacije					
Informacija o faktoru					
Faktor	Razine	Vrijednosti			
Faktor	2	Vp (BR); Vp (AR)			
Analiza varijacije					
Izvor	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Faktor	1	0,0128	0,01278	0,25	0,617
Greška	427	21,7842	0,05102		
Ukupno	428	21,7970			
Srednje vrijednosti					
Faktori	N	Mean	StDev	95 % CI	
Vp (BR)	247	1,2338	0,2174	(1,2056; 1,2621)	
Vp (AR)	182	1,2449	0,2369	(1,2120; 1,2778)	
Zajednički StDev = 0,22586					
Opis kratice za faktore:					
Vp(BR) – brzina pješaka prije rekonstrukcije (m/s); Vp(AR) – brzina pješaka prije rekonstrukcije (m/s)					
Opis kratice za parametre Anova:					
DF – stupanj slobode iz svakog izvora DF=n-1; Adj SS – korigirana suma kvadrata između skupina (faktor) i suma kvadrata unutar skupina (greška); Adj MS – korigirana suma kvadrata između skupina (faktor) i suma kvadrata unutar skupina (greška); F-value – statistički parametar raspodjele F, računa se dijeljenjem faktora Adj MS s greškom Adj MS; P-Value – vjerojatnost dobivanja testne statistike; N – ukupan broj opažanja; Mean – suma svih opažanja podijeljena s brojem opažanja (aritmetički prosjek); StDev – standardno odstupanje podataka; 95 % CI – 95 % interval povjerenja.					

Tablica 6. Vrijednosti stupnja propuštanja pješaka i vremenskih gubitaka pješaka za stanje prije i nakon rekonstrukcije

	Prije rekonstrukcije	Nakon rekonstrukcije
Stupanj propuštanja pješaka	0,66	0,82
Vremenski gubici pješaka (s)	7	5
Razina usluge	B	A

normalnu raspodjelu. Jedan od načina na koji se može koristiti to ispitivanje odnosi se na uspoređivanje dviju neovisnih (nepovezanih) skupina primjenom F-raspodjele. Nulta hipoteza za to ispitivanje glasi da su obje srednje vrijednosti jednake, a ta se hipoteza može odbaciti ako je vrijednost p ispitivanja niža od definirane značajne razine α [19]. Na bazi određene vrijednosti $p = 0,617$, koja je veća od definiranog praga značajke od $\alpha = 0,05$, ne može se odbaciti nulta hipoteza prema kojoj nema razlike u brzini kretanja pješaka. Na temelju ovog ispitivanja (tablica 5.) može se zaključiti da su uvjeti u pogledu brzine kretanja pješaka ostali nepromijenjeni.

Kvaliteta pješačkog prometa prije svega se određuje na temelju vremenskih gubitaka pješaka dok čekaju da prijeđu preko ceste. U ovom su istraživanju prosječni vremenski gubici pješaka i stupnjevi propuštanja pješaka određeni za situacije prije i nakon rekonstrukcije. Vrijednosti vremenskih gubitaka određene su proračunom pomoću poznate metodologije [10], a vrijednost stupnja propuštanja pješaka dobivena je mjerenjem konkretnih uzoraka. Vrijednosti ta dva parametra za stanje prije i nakon rekonstrukcije pješačkog prijelaza prikazane su u tablici 6.

Kao što se vidi iz tablice 6., stupanj propuštanja pješaka malo se popravio te iznosi 0,82 nakon rekonstrukcije, što znači da gotovo 82 % vozača uspori ili zaustavi svoje vozila kako bi propustili pješake koji prelaze ulicu. Što se tiče smanjenja vremenskih gubitaka pješaka, oni su za stanje prije rekonstrukcije opisani razinom usluge B, a nakon rekonstrukcije taj je parametar opisan najvišom razinom usluge A.

5. Zaključak

Iako je prednost pješačkog prometa u odnosu na promet vozila općenito definirana pomoću općih prometnih propisa, često se ipak trebaju provoditi razne građevinske intervencije kako bi svi sudionici prihvatili zadani režim kretanja. Jedna od takvih intervencija koje se provode u točki u kojoj dolazi do križanja tokova pješaka i vozila jest denivelacija kolnika, tj. podizanje pješačkog prijelaza tako da se formira platforma koja funkcionira kao sredstvo za usporenje prometa a i jasnije naglašava mjesto na kojem pješaci prelaze preko ulice. Utjecaj građevinskih mjera određen je u okviru analize prometnih uvjeta i ponašanja pješaka i vozača na nesignaliziranom izdvojenom pješačkom prijelazu u kampusu Sveučilišta u Novom Sadu, te su definirane razlike kvalitativnih prometnih pokazatelja. Usporedba kvalitativnih pokazatelja prometnih tokova na pješačkom prijelazu prije i nakon njegove rekonstrukcije pokazuje da je nakon rekonstrukcije srednja vrijednost brzine vozila smanjena za otprilike 50 %. S aspekta sigurnosti prometa, to je smanjenje u rasponu registriranih brzina ekvivalentno smanjenju dužine zaustavne preglednosti od 16,4 m pri normalnom kočenju, tj. 9,3 m pri naglom kočenju. Što se tiče prosječne brzine kretanja pješaka, analiza je pokazala da je ovaj parametar ostao nepromijenjen. Nakon analize parametara koji se odnose na pješački promet, zaključeno je da je izvođenje uzdignutog pješačkog prijelaza na ovom mjestu pozitivno utjecalo na uvjete odvijanja pješačkog prometa. To se poboljšanje očituje u smanjenju vremenskih gubitaka pješaka te u povećanju razine usluge koja se nudi pješacima.

LITERATURA

- [1] Zegeer, C., Stewart, R., Huang, H., Lagerwey, P., Feaganes, J., Campbell, B.: Safety Effects of Marked versus Unmarked Crosswalks at Uncontrolled Locations: Final Report and Recommended Guidelines, University of North Carolina - Office of Safety Research and Development Federal Highway Administration, 2005.
- [2] JP Putevi Srbije: Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji (5. Funkcionalni elementi i površine puteva, 5.7 Pešačke površine i površine za hendikepirane), JP Putevi Srbije, 2012.
- [3] Turner, S., Sandt, L., Toole, J., Benz, R., Patten, R.: FHWA University Course on Bicycle and Pedestrian Transportation: Student Workbook, Texas Transportation Institute - Office of Safety Research and Development Federal Highway Administration, 2006.
- [4] Institute of Transportation Engineers. Traffic Calming: The State of Practice, An Informational Report Sponsored by the Federal Highway Administration (FHWA-RD- 99-135) 1999.
- [5] NACTO Urban Street Design Guide, <https://nacto.org/publication/urban-street-design-guide/street-design-elements/vertical-speed-control-elements/speed-table/> 15.12.2018.
- [6] Mitrović Simić, J., Bogdanović, V., Basarić, V., Saulić N.: Istraživanje karakteristika ponašanja pešaka na nesignalisanim pešačkim prelazima, Put i saobraćaj, 63 (2017), pp. 13-18
- [7] Lobjois, R., Benguigui, N., Cavallo, V.: The effects of age and traffic density on street-crossing behavior, Accident Analysis and Prevention, 53 (2013), pp. 166–175, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.12.028>

- [8] DiPietro, C.M., King, L.E.: Pedestrian gap-acceptance, Highway Research Record, 308 (1970), pp. 80-91
- [9] Gates, T.J., Noyce, D.A., Bill, A.R., Van, E.N.: Recommended walking speeds for pedestrian clearance timing based on pedestrian characteristics of the Pedestrian Population, Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, pp. 38-47, 2006, doi: <https://doi.org/10.3141/1982-07>
- [10] Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Washington D.C., 2010
- [11] Fitzpatrick, K., Turner, S., Brewer, M., Carlson, P., Ullman, B., Trout, N., Park, E.S., Whitacre, J.: Improving Pedestrian Safety at Unsignalised Crossings, TCRP Report 112/NCHRP Report 562, 2006
- [12] Mitrović Simić, J., Bogdanović V., Basarić V., Saulić N.: Motorist yield rate model at unsignalised crossings, Technical Gazette, 23(2016), pp. 1185-1192, doi: <https://doi.org/10.17559/TV-20150507102757>
- [13] Kuzović, Lj., Bogdanović, V.: Teorija saobraćajnog toka, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2010.
- [14] Greenshields, B., Bibbins, J., Channing, W., Miller, H.: A Study of Traffic Capacity. 14th Annual Meeting of the Highway Research Board, Washington, D.C, pp. 448-477, 1935.
- [15] Highway Capacity Manual, Transportation Research Board, Washington, D.C., 2016
- [16] Ivanović, B., Garunović, N., Tomanović, Z.: Research on the length of passing distance in the real traffic flow, GRAĐEVINAR, 66 (2014) 9, pp. 823-830. doi: <https://doi.org/10.14256/JCE.1062.2014>
- [17] Bogdanović, V., Ruškić, N., Papić, Z., Simeunović, M.: The Research of Vehicle Acceleration at Signalised Intersections, PROMET TRAFFIC & TRANSPORTATION, 25 (2013), pp. 33-42, doi: <https://doi.org/10.7307/ptt.v25i1.1245>
- [18] Digvijay, P., Gopal, P.: Critical gap estimation for pedestrians at uncontrolled mid-block crossings on high-speed arterials, SAFETY SCIENCE 86, (2016), pp. 295-303, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.03.011>
- [19] Montgomery, D.C., Runger, G.C.: Applied Statistics and Probability for Engineers, 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2020.
- [20] Mohammadipour, A., Archilla, A.R., Papacostas, C.S., Alavi, S.H.: Raised pedestrian crosswalk (RPC) Influence on Speed Reduction, Washington, DC United States 20001, 2012.
- [21] Pratelli, A., Pratali, R., Rossi, M.: Raised crosswalks efficacy on the lowering of vehicle speeds, in WIT Transactions on the Built Environment, 2011, vol. 116, no. June 2011, pp. 541-552, <http://dx.doi.org/10.5703/1288284315522> %5Cn<https://trid.trb.org/view/1374365>